

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU  
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO

TIN STRAŽIČIĆ  
ZAŠTITNI SKLOPOVI GENERATORSKOG POLJA  
VISOKONAPONSKIH SKLOPNIH PLOČA

ZAVRŠNI RAD

Dubrovnik, rujan, 2019.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU  
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO

ZAŠTITNI SKLOPOVI GENERATORSKOG POLJA  
VISOKONAPONSKIH SKLOPNIH PLOČA

ZAVRŠNI RAD

Studij: Elektrotehničke i komunikacijske tehnologije u pomorstvu

Kolegij: Brodske visokonaponske tehnologije

Mentor: izv.prof.dr.sc. Marija Mirošević

Student: Tin Stražičić

# Sadržaj

SAŽETAK.....	3
UVOD .....	4
1 Brod za kružna putovanja m/v Oasis of the Seas .....	5
1.1 Osnovni podaci o brodu .....	5
1.2 Javni prostori broda .....	6
1.3 Brodski pogon .....	7
2 Oasis of the Seas: Generatori i njihova zaštita .....	8
2.1 Sustav visokog napona .....	8
2.2 Sinkroni generator .....	9
2.3 Zaštite visokonaponskog sustava .....	11
2.3.1 Zaštita od povratne snage .....	13
2.3.2 Zaštita od poduzbude.....	13
2.3.3 Zaštita od zamjene redoslijeda faza.....	13
2.3.4 Zaštita od preopterećenja.....	13
2.3.5 Zaštita od struja kratkog spoja.....	13
2.3.6 Neusmjerena prekostrujna zaštita.....	14
2.3.7 Zaštita od prenapona .....	14
2.3.8 Zaštita od spoja na masu.....	14
2.3.9 Zaštita od usmjerenog spoja na masu .....	14
2.3.10 Diferencijalna zaštita .....	14
2.3.11 Zaštita od električnog luka .....	14
2.4 Integracija u sustav automatizacije strojarnice .....	15
3 Zaštitni sklopovi i uređaji.....	16
3.1 Zaštitni terminal REM 545 .....	16
3.1.1 Sučelje terminala .....	17
3.1.2 Funkcije Terminala REM545 .....	18

3.1.2.1 Zaštitne funkcije .....	19
3.1.2.2 Mjerne funkcije .....	20
3.1.2.3 Upravljačke funkcije .....	20
3.1.2.4 Funkcije nadzora stanja .....	21
3.1.2.5 Komunikacijske funkcije.....	21
3.1.2.6 Opće funkcije .....	21
3.1.2.7 Standardne funkcije.....	21
3.1.3 Programiranje i konfiguracija terminala.....	21
3.1.3.1 Konfiguracija upravljačkih funkcija.....	21
3.1.3.2 Konfiguracija Mimic dijagrama .....	22
3.1.3.3 Konfiguracija parametara i događaja.....	23
3.1.4 Ulazi i izlazi terminala .....	24
3.1.4.1 Analogni kanali .....	24
3.1.4.2 Digitalni ulazi .....	25
3.1.4.3 Digitalni izlazi .....	25
3.1.4.4. RTD/Analogni ulazi i analogni izlazi.....	25
3.1.5 Interni nadzor (IRF).....	26
3.1.6 Serijska komunikacija. ....	26
3.2 ARC Guard System™ TVOC– zaštita od električnog luka .....	26
3.3 SensyCal IR – Nadzor temperature visokonaponskih komponenti .....	28
4 Zaključak .....	29
LITERATURA .....	30
PRILOZI.....	31
Popis tablica .....	31
Popis slika.....	31
IZJAVA .....	33

Dubrovnik, svibanj, 2019.

## SAŽETAK

Velika većina uređaja i strojeva na suvremenim plovilima je pogonjena električnom energijom. Velikom broju plovila su i porivni sustavi električni. Potrebe za električnom energijom su sve veće, što je dovelo do bržeg razvoja tehnologije sustava proizvodnje i distribucije električne energije na brodovima, a posljedično i do više sofisticiranosti tih sustava. U ovom radu će se približiti i pojasniti suvremene sklopove i uređaje za zaštitu brodskih sinkronih generatora visokog napona i njihovog spoja na visokonaponsku distribucijsku mrežu broda za kružna putovanja većeg od 130000 BRT. Zaštite visokonaponskog sustava i generatora opisat će se na primjeru broda za kružna putovanja *Oasis of the Seas*. Upoznati će se i osnovna obilježja uređaja i sklopova koji se koriste u tu svrhu.

*Ključne riječi: Brod za kružna putovanja, Sklopna ploča visokog napona, Zaštitni sklopovi*

## ABSTRACT

The vast majority of devices and machines on modern vessels are powered by electrical energy. A large number of vessels use electrical propulsion systems, as well. The need for electrical energy is getting larger by day, which has resulted in a faster development of technology of production and distribution of electricity on ships, and consequently to more sophistication of these systems. In this paper, closer attention will be given to clarify modern circuits and devices for the protection of the ships' high-voltage synchronous generators and their connections to the high-voltage distribution network of a large cruise ship that exceeds 130000 GT.

The protections of a high-voltage system and generators will be described on the example of the cruise ship *Oasis of the Seas*. The basic features of devices and circuits used for this purpose will also be introduced.

*Key words: Cruise ship, High voltage switchboard, Protection systems*

## UVOD

Trend rasta kružnih putovanja u pomorskom prometu dovodi do gradnje sve većih i tehnološki složenijih brodova. U razdoblju od 2009. do 2017. godine broj putnika na kružnim putovanjima porastao je sa 17,8 na 25,8 milijuna [1]. Po izvještaju Florida-Caribbean udruge za kružna putovanja za 2018. godinu, kružna putovanja su najbrže rastuća kategorija tržišta turističkih putovanja. Isti izvor navodi i da je za razdoblje od 2018. do 2025. godine već bilo naručeno oko 50 novih prekonteinerskih brodova od strane članica Internacionalnog udruženja kompanija za kružna putovanja (eng.: *Cruise Lines International Association*) i Florida-Caribbean udruge za kružna putovanja (eng.: *Florida-Caribbean Cruise Association*).

Kako rastu brodovi, tako rastu i njihove potrebe za energijom. Kao i u svakom drugom poslu, teži se ka što manjim gubicima u proizvodnji, prijenosu i potrošnji te energije. Upravo zbog toga se na suvremenim putničkim brodovima uglavnom koristi električna energija za potrebe propulzije, za pogon raznih strojeva, uređaja i rasvjetu. Sve veće potrebe za električnom energijom dovele su do projektiranja i upotrebe složenih pogona temeljenih na većem broju dizel-generatora visokog napona, uglavnom od 6 ili 11 kV. Najčešće korišteni generatori su trofazni sinkroni generatori s neutralnom točkom (zvjezdastom) koja je spojena na masu broda putem posebnog otpornika.

U slučaju pojave kvara na ovakvim sustavima lako je zamisliti scenarij gdje takav kvar dovodi do značajnih posljedica. Tako sustav može ostati bez jednog ili više generatora, moguće i bez jednog ili više segmenata visokonaponske sklopne ploče, bilo da je kvar manjih ili većih razmjera. Posljedice kvarova na visokonaponskoj mreži sežu od minimalnih, koje se rješavaju promjenom komponente sustava koji je u kvaru, na primjer zamjena neispravnoga visokonaponskog prekidača, do vrlo značajnih posljedica bilo po sustav ili brod, kompaniju i ljude. Da bi se mogućnost pojave kvara smanjila na najmanju mjeru koriste se sve složeniji i sofisticiraniji sustavi za nadzor i rano otkrivanje potencijalnih kvarova u brodskoj visokonaponskoj mreži. Cilj rada je opisati i analizirati načine zaštite od kvarova na visokonaponskoj mreži, a za primjer je odabrana električna mreža koja se koristi na brodu za kružna putovanja *Oasis of the Seas*.

# 1 Brod za kružna putovanja m/v *Oasis of the Seas*

## 1.1 Osnovni podatci o brodu

*Oasis of the Seas* (IMO broj 9383936) je prvi od do sada četiri porinuta broda klase „Oasis”, u vlasništvu kompanije Royal Caribbean Cruises Ltd. Izgrađen je 2009. u Brodogradilištu STX Europe u gradu Turkuu u Finskoj.

To je brod dugačak 360 metara preko svega. Širina na vodenoj liniji je 47 metara, a maksimalna (preko svega) je čak 60,5 metara. Gaz mu je 9,322 metara. Maksimalna visina broda je 72 metra iznad površine mora.[2] *Oasis of the Seas* je prikazan na slici 1.1.



Slika 1.1: m/v *Oasis of the Seas* ulazi u luku Nassau, Bahami, siječanj 2010.

Zanimljiv je podatak da je *Oasis of the Seas* morao proći ispod mosta Storebæltsbroen, koji spaja Danske otoke Zealand i Funen, na svom putu iz brodogradilišta u Baltičkom moru prema SAD-u, a taj most ima ograničenje od 65 metara visine za prolazak ispod njega. Upravo zbog tog razloga su cijevi dimnjaka izgrađene s teleskopskim mehanizmom koji ih može spustiti i tada je maksimalna visina broda punih 7 metara manja, dakle 65 metara. Dodatnih 30 centimetara je dobiveno tzv. „squat” efektom, jer je brod plićinom ispod mosta prošao maksimalnom brzinom, što bi bilo oko 23 čvora. *Oasis* je prošao na jedva 60 centimetara ispod samoga mosta!

Zapremina *Oasis of the Seas* je 225282 bruto registarskih tona [2]. Na slici 1.2 vidimo ga privezanog do kruzera *Grandeur of the Seas* koji je dugačak „samo” 279 m te ima 79.817 bruto tona. Maksimalni dozvoljeni broj putnika je 6.450, a broj članova posade je oko 2.400.

Tri Azipoda od po 20 MW snage pokreću taj gigantski putnički brod brzinom od 22,6 čvorova.

## 1.2 Javni prostori broda

Javni prostori *Oasis of the Seas* podijeljeni su na sedam brodskih četvrti (eng.: *neighbourhoods*).

1. Centralni park (eng.: *Central Park*) je otvoreni prostor dizajniran kao veliki urbani park. To je prvi pravi park na moru i sastoji se od više od 12 tisuća živih biljaka i oko 56 stabala. Tamo se nalaze i razne trgovine, restorani te barovi. Tu se nalazi i ulaz u „Rising tide bar”, kafić koji putuje između 5. i 8. palube.
2. Sportski i bazenski kompleks (eng.: *The Pool and Sports zone*) sastoji se od brojnih bazena, jacuzzija, sportskog terena, terena za mini golf, dva simulatora surfanja i zip linea koji je postavljen iznad kvarta *Boardwalk*.
3. Šetnica (eng.: *Boardwalk*) je dio koji podsjeća na tipične Američke priobalne zabavne parkove i sadrži karusel, restorane, trgovine, igraonicu i dvije umjetne stijene za penjanje. U sklopu se nalazi i amfiteatar od 750 sjedala s najvećim slatkovodnim bazenom na brodu (eng.: *Aqua Theater*), koji je uz to i najdublji ikada izgrađen bazen na putničkim brodovima.
4. Wellness kompleks (eng.: *Vitality Spa and Fitness Center*) koji se nalazi u prednjem dijelu broda sadrži veliki salon ljepote, frizerski salon i potpuno opremljenu teretanu.
5. Promenada (eng.: *Royal Promenade*) je najveći zatvoreni javni prostor i nalazi se ispod Centralnog Parka. Tu se nalaze brojne trgovine, restorani i barovi.
6. Postoji i posebni prostor za djecu i mlade (eng.: *Youth Zone*). Djeca od 6 mjeseci starosti smiju biti ukrcana na brod, a ovdje imaju uslugu jaslica, dok malo stariji uživaju u raznim vrtićkim grupama, ovisno o njihovoj dobi i afinitetima, pa sve do tinejdžera (eng.: *teenager*) koji mogu istraživati u znanstvenom laboratoriju ili se igrati u video ili sportskim igraonicama.
7. U prednjem dijelu broda se nalazi i dio za zabavu (eng.: *Entertainment place*). U sklopu njega je kazalište sa 1.500 sjedala, klizalište, noćni i jazz klub, zaseban klub za nastupe komičara i veliki casino.



Slika 1.2: *Oasis of the Seas* (desno) pokraj broda *Grandeur of the Seas*.



Svim ovim prostorima, uključujući i dijelovima broda rezerviranim za smještaj i život posade, kuhinje, praonice i ostale servisne djelatnosti, baš svima je zajedničko da im je potrebna električna energija. Nije teško zamisliti da su potrebe za električnom energijom broda ovih dimenzija, dok plovi punom brzinom, vrlo slične potrebama manjega grada. Ukupna instalirana snaga izvora električne energije na ovom brodu je 110 MVA

### 1.3 Brodski pogon

Brodsko električna centrala *Oasis of the Seas* napaja se iz 6 dizelskih generatora. Tri su veća, a tri nešto manja.

Agregati veće snage pogonjeni su 16-cilindričnim srednjehodnim dizelskim motorima snage 18860 kW, a jedan od njih je prikazan na slici 1.3. (tip motora Wartsila 16V46D). Na njh su spojeni sinkroni generatori nazivnih podataka:  $P_n=21\,089\text{ kVA}$ ,  $U_n=11\text{ kV}$ ,  $f_n=60\text{ Hz}$  i  $I_n=1107\text{ A}$ . Nazivna brzina je 514 o/min, a maksimalna (eng.: *overspeed*) 617 o/min. (sinkroni generatori su tipa AMG1600UT14LSE, proizvođač ABB).



Slika 1.3: *Oasis of the Seas*, Dizel Generator Br.1, dizelski motor

Sinkroni generatori manje snage nazivnih podataka:  $P_n=15816\text{ kVA}$ ,  $U_n=11\text{ kV}$ ,  $f_n=60\text{ Hz}$  i  $I_n=830\text{ A}$  (tip generatora AMG1600QP14LSE, proizvođač ABB), za pogonske strojeve koriste 12-cilindrične srednjehodne dizelske motore snage 13860 kW i nazivna brzine vrtnje 514 o/min (tip motora Wartsila 12V46D).

Propulzija broda se sastoji od tri Azipod<sup>TM</sup> sustava snage od po 20 MW svaki, pri maksimalnom broju okretaja od 150 o/min. Postoje četiri bočna potisnika na pramcu, a svaki ima snagu 5,5 MW.

## 2 *Oasis of the Seas*: Generatori i njihova zaštita

### 2.1 Sustav visokog napona

Sustav napajanja električnom energijom broda za kružna putovanja „*Oasis of the Seas*“ počiva na šest generatora, tri od nazivno 21089 kVA i tri od 15816 kVA. Tri veća generatora, tipa prikazanog na slici 2.1, su spojeni na glavnu razvodnu ploču HMS01, a tri manja na glavnu razvodnu ploču HMS03. Kratica HMS znači glavna sklopna ploča visokog napona (eng.: *High voltage Main Switchboard, HMS*).

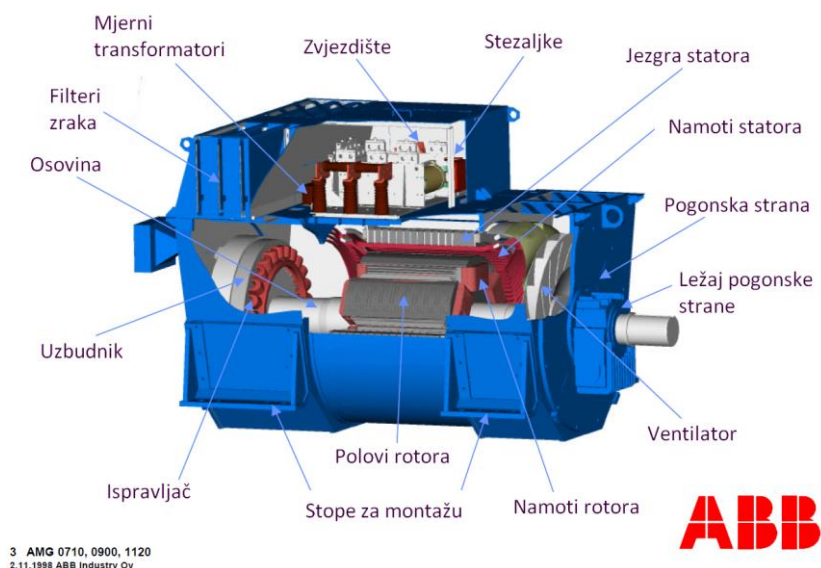


Slika 2.1: Dizelski generator proizvođača ABB

Svaki od ovih generatora je spojen na vlastiti dovodni odjeljak u sklopnoj ploči, gdje se spajaju na mrežu visokog napona (11 kV). Odjeljak, odnosno polje generatora sadrži i visokonaponski prekidač sa sumpor heksafluorid plinom (kraće: SF<sub>6</sub>), postavljen na vodilicama koje omogućuju sigurno izvlačenje prekidača. Kretanje po vodilicama je blokirano kada je prekidač zatvoren. Spoj na masu je moguć samo kada je prekidač otvoren i u izvučenom položaju, uzbuda generatora isključena te dizelski pogonski stroj zaustavljen. U ovom odjeljku se nalazi i zaštitni relej koji štiti generator i omogućuje upravljanje prekidačem. Tu se mjere bitni parametri kao što su temperature spojeva izvoda generatora na sabirnice, linijske struje i naponi te se izmjerene vrijednosti parametara šalju sustavu automatizacije pogona (eng.: *Machinery Automation System, MAS*).

## 2.2 Sinkroni generator

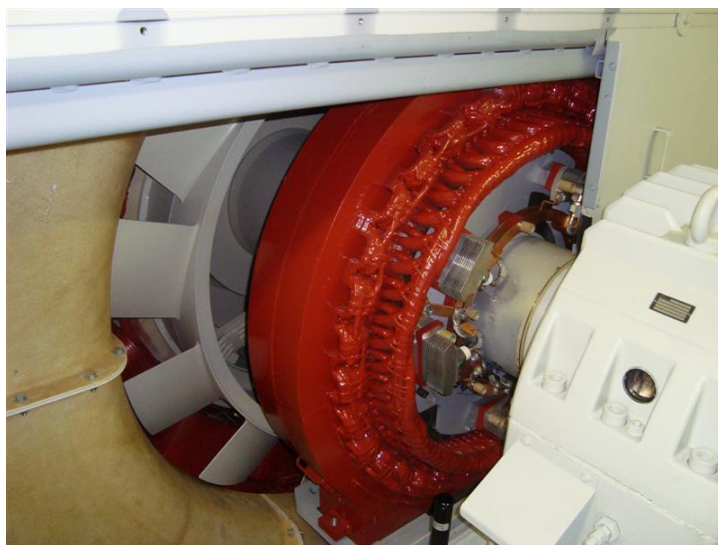
Brodski sinkroni generator, prikazan na slici 2.2 je električni rotacijski stroj koji mehaničku energiju pretvara u električnu te kod kojeg se okretno magnetsko polje statora vrti istom brzinom kao i rotor.



Slika 2.2: Glavne komponente sinkronog generatora proizvođača ABB

Da bi se u namotima statora inducirao izmjenični napon, rotor je izveden kao elektromagnet napajan putem malog generatora na osovini, a koji se naziva rotacijski uzbudnik. Uzbudnik, kao što je prikazano na slici 2.3, na sebi ima ispravljač napona induciranog u namotima armature uzbudnika.

Kada pogonski stroj (dizel motor) vrti generator generirani napon sinkronog generatora, koji nastaje presijecanjem trofaznih vodiča statora magnetskim poljem rotora, ispravlja se pomoću diodnog mosta i dovodi na statorski uzbudni namot uzbudnika. Na vodičima trofaznog rotorskog namota uzbudnika, zbog presijecanja magnetskog polja statora (uzbude), inducira se trofazni sustav napona koji se na samom rotoru ispravlja pomoću šest dioda ispravljača i najčešće kroz šuplju osovinu, ispod ležaja, dovodi na uzbudne namote glavnog generatora[3].



Slika 2.3: Uzbuda sinkronog generatora

Na slici 2.3 u prvom planu, s desne strane, je vidljiv sklop uljem podmazivanog ležaja. Veliki crveni prsten je stator uzbude, a unutar njega je, također crveno lakirani namot rotora uzbude. Vidljive su i ispravljačke diode te njihovi hladnjaci.

Uzbuda svakog pojedinog generatora je kontrolirana sklopom zvanim Automatski regulator napona, koji je prikazan na slici 2.4, a koji se obično nalazi u zasebnoj prostoriji u sklopu prostora glavne sklopne ploče.



Slika 2.4: Automatski regulator napona generatora (eng.: *Automatic Voltage Regulator, AVR*)

Krajevi statorskih namota generatora spojeni su na linijske stezaljke. Tu se spajaju kabeli kojima se proizvedena električna energija odvodi prema glavnoj sklopnoj ploči, a ujedno se tu nalaze strujni i naponski mjerni transformatori, koji su prikazani na slici 2.5.



Slika 2.5: Mjerni transformatori napona i struje sinkronog generatora



Zvezdište svakog generatora se spaja na masu broda preko otpornika visoke impedancije, čija je vrijednost za svaki generator  $2300\ \Omega$  s maksimalnom kontinuiranom strujom od 1 A te maksimalnom kratkotrajnom strujom 3 A do 15 s, a koji se može vidjeti na slici 2.6. Ovaj će otpornik ograničiti struju koja će poteći kroz točku zvezdišta u slučaju spoja na masu.



Slika 2.6: - Spoj zvezdišta generatora na masu broda preko otpornika – (eng.: *Neutral Point Cubicle, NPC*)

Osovina rotora sinkronog generatora je s pogonske strane spojena na izvor mehaničke energije, u ovom slučaju na dizel motor. Osovina je fiksirana velikim, uljem podmazivanim ležajevima s pogonske i nepogonske strane generatora. Ležaj nepogonske strane generatora se može vidjeti na slici 2.3.

### 2.3 Zaštite visokonaponskog sustava

Osnovna funkcija sustava zaštite je prevencija i zaštita plovila, posade i opreme od udesa do kojih bi moglo doći zbog nepredviđenih i nenadanih kvarova. Ovi sustavi smanjuju mogućnost i opseg kvarova na način da obavijeste operatera alarmiranjem ili izoliranjem mjesta kvara. Na taj način se sprječava širenje i pogoršavanje opsega kvara. Sustavi sadrže razne zaštitne i mjerne funkcije poput zaštite od kratkog spoja i mjerenja trenutne snage generatora, upravljaju visokonaponskim prekidačima te ulaznim i izlaznim signalima za blokade i signalizaciju. Alarmiraju slanjem potrebnih informacija centralnom sustavu automatizacije strojarnice (MAS) i prikazivanjem na lokalnom terminalu. U određenim slučajevima, kao što je pojava električnog luka, signal za okidanje otvara visokonaponski prekidač kruga gdje je kvar uočen. Aktivacija okidanja prekidača može biti potvrđena samo na upravljačkom panelu zaštitnog terminala. Na taj način se smanjuje rizik od ponovnog pokretanja pogona bez da se prethodno utvrdi što je točno dovelo do prorade zaštite.

Glavnina zaštitnih sklopova brodskog generatora je smještena unutar generatorskog polja visokonaponske glavne sklopne ploče. Taj odjeljak je zorno prikazan na slici 2.7.



Slika 2.7: Polje generatora br.1 na glavnoj sklopnoj ploči

S vanjske strane instrument-panela generatorskog polja su smješteni mjerni instrumenti, sklopke za mjerne instrumente i grijače te zaštitni uređaji. Od analognih mjernih instrumenata tu se nalaze indikator faktora snage ( $\cos \varphi$ ), mjerač frekvencije, ampermetar sa sklopkom za izbor linije na kojoj se mjeri jakost struje, voltmeter sa sklopkom za izbor linija između kojih se mjeri napon te vatmetar. Vidljive su crvena indikatorska lampica istosmjernog napona uzbude i plava lampica indikacije rada grijača generatora. Neposredno do te lampice je i sklopka za uključivanje grijača.

Najveći instrument na panelu je korisničko sučelje zaštitnog terminala REM545. Desno od njega se nalazi sučelje uređaja za nadziranje temperature visokonaponskih sabirnica i kontaktnih površina unutar generatorskog polja. Do njega je i tipka za deblokadu sklopke spoja na masu.

U mjernom ormariću u sklopu generatora, slika 2.5, se nalaze naponski mjerni transformatori, transformatori diferencijalne zaštite generatora (zaštita od povratne snage), strujni mjerni transformatori, po jedan za svaku od tri faze te jedan dodatni za regulaciju paralelnog rada generatora.

### 2.3.1 Zaštita od povratne snage

Funkcija zaštite od povratne snage (eng.: *Reverse power*) štiti pogonski stroj generatora, u ovom slučaju dizelski motor. Kada tok snage promijeni smjer, generator počinje raditi kao motor napajan sa mreže i to može dovesti do značajnih oštećenja dizel motora. Ova zaštita mjeri struje i napone te računa trofaznu aktivnu i reaktivnu snagu. Prorada ove zaštite će okinuti otvaranje prekidača.

### 2.3.2 Zaštita od poduzbude

Funkcija zaštite od poduzbude (eng.: *Under-excitation*) štiti sinkroni generator u slučaju kada je isti blizu gubitka sinkronizacije i tada se generator iskapča sa mreže. Djelomičan ili potpun gubitak uzbude može dovesti do toga da generator uzima reaktivnu snagu s mreže. Posljedično, reaktancija sustava će postati negativna, a ovo smanjenje reaktancije se može prepoznati nadzorom impedancije. Za izračun se koriste mjerene vrijednosti struje na neutralnom kraju generatora i mjerenje napona na fazama u generatorskom odjeljku sklopne ploče [4]. Zaštita proradi kada izračunata vrijednost impedancije prijeđe postavljene vrijednosti i tada se okida otvaranje prekidača generatora.

### 2.3.3 Zaštita od zamjene redoslijeda faza

Zaštita od zamjene redoslijeda faza (eng.: *Negative phase sequence*) je funkcija zaštite generatora od nesimetričnog opterećenja koje uzrokuje termalno opterećenje i oštećenja rotora. Struje faza se mjere strujnim transformatorima, a prorada zaštite okida otvaranje generatorskog prekidača. Ova zaštita ima dva načina rada: s vremenskim zatezanjem i zbrojno vremenski način. Kod prvog načina rada zaštita će proraditi ako je mjerena vrijednost veća od zadane granice za vrijeme trajanja unaprijed određenog vremenskog perioda. Kod zbrojno vremenskog načina rada funkcije zbraja se izmjerena vrijednost struje od trenutka kada prijeđe postavljenu granicu, a zaštita proradi kada taj zbroj postane veći od prethodno određene vrijednosti za zadani vremenski period.

### 2.3.4 Zaštita od preopterećenja

Funkcija zaštite od preopterećenja (eng.: *Thermal overload*) štiti namote statora generatora od kratkotrajnog i dugotrajnog preopterećenja. Izračun termalnog preopterećenja se temelji na krivulji preopterećenja. Ova zaštita koristi matematički termalni model koji uz pomoć izmjerenih vrijednosti faznih struja i dvije vremenske konstante daje izračun porasta temperature u statoru. Kada porast temperature prijeđe prethodno određenu granicu, ova zaštitna funkcija okida otvaranje prekidača generatora. Fazne struje mjere se klasičnim strujnim transformatorima. Prilikom izračuna porasta temperature ova funkcija koristi najveću izmjerenu efektivnu vrijednost struje faze.

### 2.3.5 Zaštita od struja kratkog spoja

Dovodni, generatorski odjeljak razvodne ploče opremljen je zaštitom od kratkog spoja (eng.: *Short circuit over-current*). Ova zaštitna funkcija je povezana sa strujnim transformatorima na strani generatora koja se spaja na zvjezdishće. Ona okida otvaranje generatorskog prekidača i šalje signal za gašenje dizel motora sustavu automatizacije strojarnice. U slučaju kvara na visokonaponskim sabirnicama, ova zaštita će iskopčati sve prekidače koji razdvajaju sklopne ploče (eng.: *bus-tie breakers*) i generatorske prekidače snage na dijelu sabirnice u kvaru, dok će ostatak mreže ostati u radu.

### 2.3.6 Neusmjerena prekostrujna zaštita

Funkcija neusmjerene prekostrujne zaštite (eng.: *Non-directional over-current protection*) štiti generator od dugotrajnih visokih struja. Zaštita će proraditi kada jedna ili više faza prijeđe unaprijed određenu vrijednost struje. Nakon prethodno zadanog vremenskog intervala okida se otvaranje prekidača generatora.

### 2.3.7 Zaštita od prenapona

Trofazna prenaponska zaštita (eng.: *Overvoltage*) je funkcija koja štiti generator od prekomjernog povećanja napona. Ova zaštita okida otvaranje generatorskog prekidača i šalje signal za gašenje dizel motora.

### 2.3.8 Zaštita od spoja na masu

Dovodni odjeljak glavne sklopne ploče je opremljen i zaštitom od spoja na masu (eng.: *Non-directional earth fault*) koja se temelji na mjerenju rezidualnog napona. Rezidualni napon se može mjeriti putem otvorenog spoja u trokut naponskih mjernih transformatora. Ova zaštita će proraditi ako izmjereni rezidualni napon prijeđe prethodno zadane vrijednosti. U prvoj razini zaštite šalje se signal za otvaranje prekidača koji razdvajaju sklopne ploče. U drugoj razini zaštite, ako je spoj na masu još uvijek prisutan nakon otvaranja spomenutih prekidača, izvršiti će se otvaranje generatorskog prekidača.

### 2.3.9 Zaštita od usmjerenog spoja na masu

Funkcija zaštite od usmjerenog spoja na masu (eng.: *Directional earth fault*) se temelji na mjerenju vrijednosti rezidualnog prenapona, neutralne struje i kuta među njima. Ova zaštita će proraditi ako neutralna struja i rezidualni napon prijeđu prethodno postavljene vrijednosti, a fazni kut bude u određenom kvadrantu. U trenutku kada proradi, ova funkcija će otvoriti generatorski prekidač i poslati signal za gašenje pogonskog motora.

### 2.3.10 Diferencijalna zaštita

Funkcija diferencijalne zaštite (eng.: *Differential protection*) je jako važna zaštita generatora, a njena je osnovna funkcija je zaštita od kratkih spojeva koji se mogu javiti unutar statorskih namota. Mjerenja se vrše i s neutralne i s fazne (linijske) strane generatora te se vrši usporedba faznih struja s obje strane šticećenog uređaja. U slučaju da se primijeti razlika amplitude ili faznog kuta jedne ili više faza između dvije strane generatora, tada ova zaštitna funkcija odmah proradi i otvara generatorski prekidač te šalje signal za gašenje pogonskog motora.

### 2.3.11 Zaštita od električnog luka

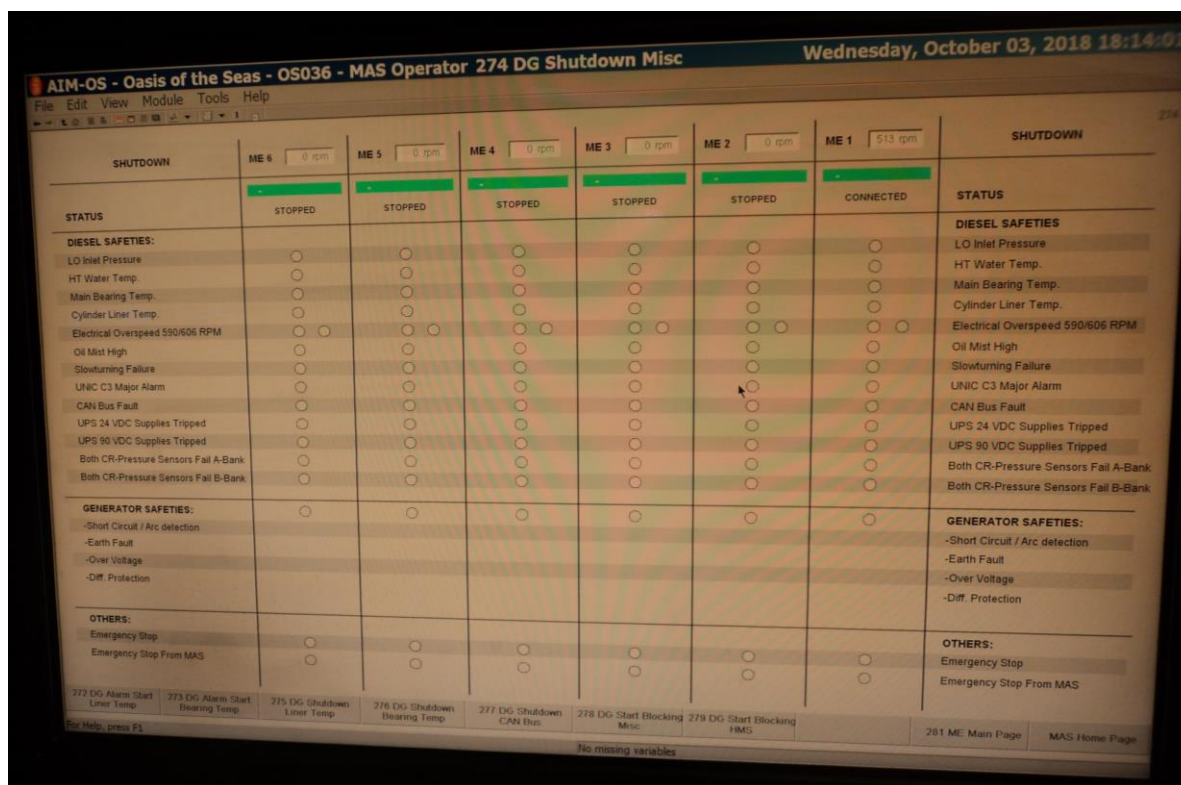
Zaštita od električnog luka radi na principu brzog otkrivanja pojave električnog luka (eng.: *Arc detection*) upotrebom optičkih senzora. Kada senzori osjete bljesak električnog luka, uređaj za zaštitu proradi i otvara prekidač kruga kojega štiti.

Pojava električnog luka često može dovesti do značajnih oštećenja opreme i ozbiljnih ozljeda osoba koje se nalaze u blizini. U ovom slučaju električni krug se mora čim prije otvoriti. Brzina kojom se može prepoznati pojava električnog luka može spriječiti veliku štetu i moguću gubitak života u srednje- i visokonaponskim sklopnim postrojenjima.



## 2.4 Integracija u sustav automatizacije strojarnice

U slučaju detekcije kvara na generatoru ili nekom od generatorskih segmenata visokonaponske sklopne ploče sustavi zaštite šalju informaciju o kvaru sustavu za automatizaciju strojarnice. Taj sofisticirani sustav prikazuje operateru lokaciju, vrijeme i mogući uzrok kvara. Na taj način se ubrzava donošenje kvalitetnih i ispravnih odluka prilikom upravljanja cjelokupnim brodskim postrojenjem.



Slika 2.8: Sustav Automatizacije broskog pogona – Stranica prikaza signala koji gase Dizel-Generator

Na slici 2.8 vidi se kako u praksi izgleda pregled stanja signala koji gase dizel generatore. To su, za dizelski pogonski stroj, sljedeći signali: nizak tlak ulja za podmazivanje, visoke temperature rashladne vode, visoke temperature košuljice, visoke temperature glavnog ležaja, prevelika brzina, pojava uljnih para u karteru, greška sporog okretanja, greške CAN-bus komunikacijskih kanala, greške sustava napajanja istosmjernom strujom napona od 24 i 90 V te greške senzora sustava ubrizgavanja goriva.

Kao greške generatora su navedeni: kratki spoj ili detekcija električnog luka, spoj na masu, previsok napon i diferencijalna zaštita (povratna snaga).

Dodatno je navedena i signalizacija zaustavljanja u nuždi ručnim prekidačem te putem sustava automatizacije strojarnice (MAS)

## 3 Zaštitni uređaji

### 3.1 Zaštitni terminal REM 545

Zaštitni terminali koriste se kako glavni zaštitni sustavi generatora i generator-transformatora u malim i srednjim dizel, hidro-električnim i parno-električnim pogonima. Može štititi i velike ili važne sinkrone i asinkrone motore prilikom pokretanja i za vrijeme normalnog rada. Na brodu *Oasis of the Seas* koriste se terminali tipa REM 545, koje je proizvela tvrtka ABB. Zaštitne funkcije REM 545 terminala su napravljene za selektivnu kratkospojnu i zaštitu od spoja na masu za rotacijske strojeve. Uz to štiti te strojeve od ostalih kvarnih stanja i događaja kao što su previsoke struje, neuravnoteženo opterećenje, visoka temperatura, visok napon, nedovoljna ili prekomjerna uzbuda, niska impedancija, previsoka i preniska frekvencija te povratna snaga (kada generator radi kao motor). Za zaštitu motora prilikom pokretanja postoje i funkcije zaštite od zastoja i brojač pokretanja.

Ovaj terminal mjeri struje pojedinih faza, linijske napone ili fazne napone, neutralnu struju, rezidualni napon, frekvenciju i faktore snage. Aktivna i reaktivna snaga se izračunava uz pomoć izmjerenih vrijednosti struja i napona. Energija se može izračunati na osnovu izmjerene snage.

Uz spomenute zaštitu, mjerenja, upravljanje, nadzor stanja i ostalih općih funkcija, ovaj terminal sadrži mnoštvo PLC funkcija koje omogućavaju upotrebu više logičkih upravljačkih algoritama. Takvi algoritmi se, na primjer, mogu koristiti za integraciju automatizacije razvodnih podstanica u jedan uređaj. Ovaj terminal za komunikaciju s uređajima koji se nalaze više u hijerarhiji sustava može koristiti SPA-bus, Modbus ili LON bus protokole. Upravo ovom kombinacijom PLC funkcija i LON komunikacije smanjuje se broj potrebnih žičanih spojeva među ovim zaštitnim terminalima.

Izvrсна učinkovitost terminala postignuta je korištenjem mikroprocesorske arhitekture. Obrada digitalnih signala u sprezi s moćnim glavnim procesorom i distribuiranim upravljanjem ulaznih i izlaznih signala omogućava paralelni rad raznih funkcija te poboljšava odziv i preciznost.

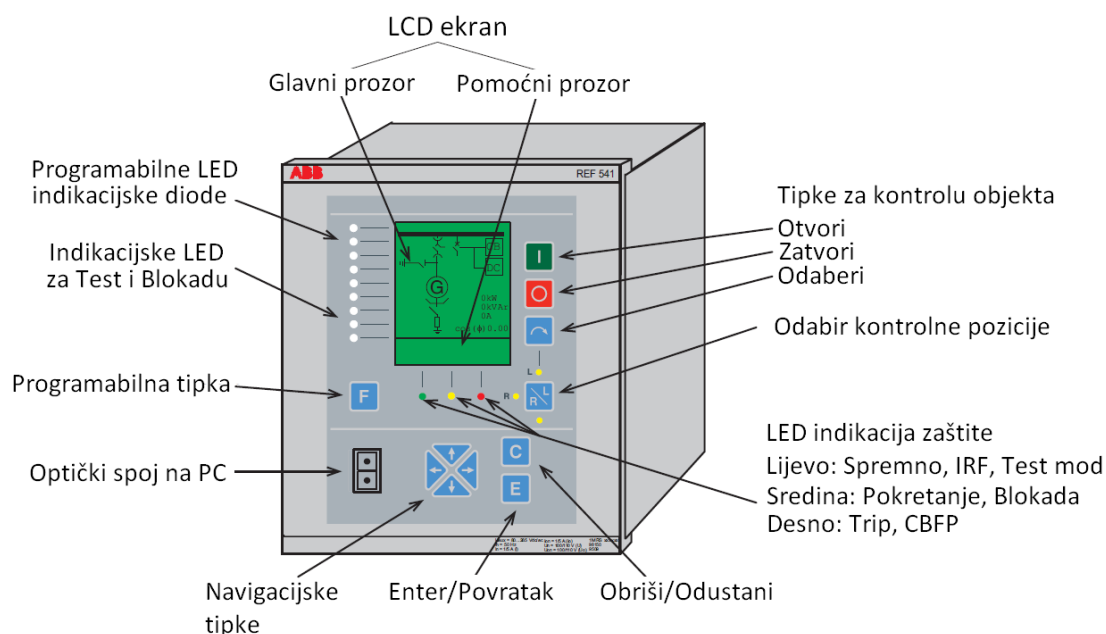
Zaštitni terminal REM 545 sadrži sljedeće module:

- Analogni modul s 9 kanala za senzore kao što su Rogowski zavojnice, dijelila napona, strujni i naponski mjerni transformatori (strujni transformatori su od 1A ili 5A, a naponski transformatori do 100V).
- CPU modul s glavnim procesorom.
- Modul napajanja. U slučaju *Oasisa* može se napajati iz izmjeničnog izvora napona 110, 120, 220 ili 240 V, a također i iz istosmjernog izvora napona od 110, 125 ili 220 V.
- Modul za digitalne ulaze i izlaze, gdje ulazni istosmjerni napon se može mijenjati od 80 do maksimalno 265 V. Maksimalni istosmjerni ili izmjenični napon na kontaktima izlaza može biti do 250 V.
- Analogni modul za spoj otpornih temperaturnih senzora.
- Ekran za grafičko sučelje terminala.

Ako se uspoređi ovaj terminal s tradicionalnim, pojedinačnim zaštitnim uređajima i relejima, može se lako zaključiti da je kombiniranje neophodnih zaštitnih i upravljačkih funkcija u jedan uređaj puno jeftinije i dopušta jednostavnu prilagodbu različitim područjima primjene.

### 3.1.1 Sučelje terminala

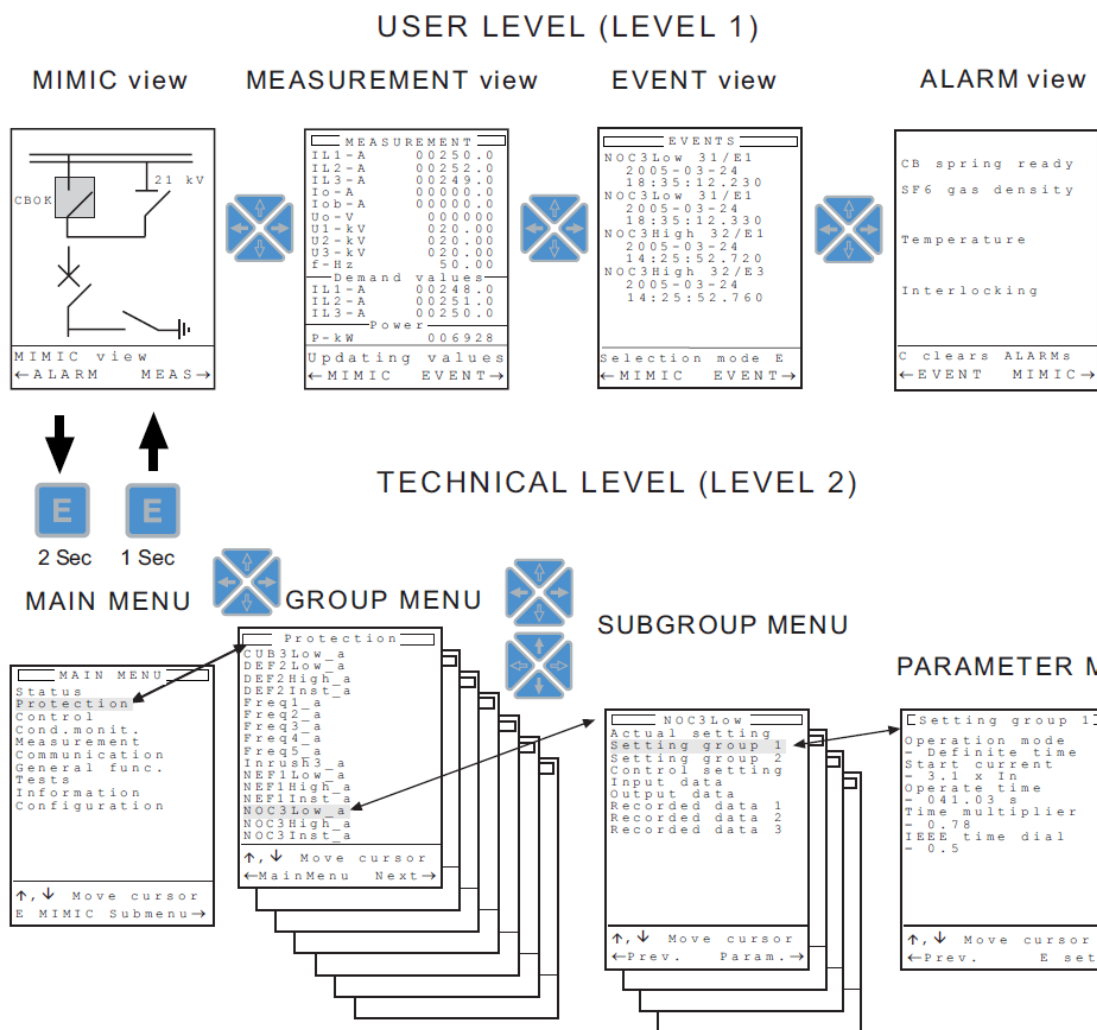
Sučelje koje uključuje i LCD s više raznovrsnih prikaza podataka i stanja, omogućava lokalnu kontrolu i upotrebu terminala jednostavnom i sigurnom. Sučelje čak sugerira korisniku kako postupiti u raznim situacijama. Na ekranu terminala se prikazuje stanje sklopnog uređaja, a ta informacija se putem serijske veze može poslati centralnom upravljačkom sustavu strojarnice (MAS – *Machinery Automation System*). Elementi kojima se može upravljati, kao što je visokonaponski prekidač, mogu se zatvarati i otvarati daljinski, iz kontrolne sobe te lokalno, koristeći tipke na prednjoj strani terminala. Sučelje terminala je zorno prikazano na slici 3.1.



Slika 3.1: Sučelje zaštitnog terminala REM 545

Ekran terminala, rezolucije 128\*160 piksela, sastoji se od 19 redaka podijeljenih u dva „prozora“ [5]. Najveći dio ekrana zauzima tzv. „Glavni prozor“ od 17 redaka, koji prikazuje detaljne informacije o Mimic prikazu, upravljanim objektima, događajima, mjerenjima, upravljačkim alarmima i parametrima terminala. Posljednja dva retka ekrana se koriste kao „Pomoćni prozor“, gdje se prikazuju stanja i alarmi zaštitnih funkcija terminala te općenite poruke koje pomažu pri radu s terminalom.

Ovaj zaštitni terminal ima dvije razine pristupa: korisničku i tehničku. Korisnička razina koristi se za pristup prikazu izmjerenih vrijednosti određenih parametara i nadzoru rada sustava. Tehnička razina upotrebljava se za pristup izbornicima koji omogućavaju promjenu parametara i programiranje terminala [5]. Shema grupiranja izbornika u zavisnosti o razini pristupa prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2 Struktura prikaza u korisničkoj i tehničkoj razini pristupa terminalu

### 3.1.2 Funkcije Terminala REM545

Osnovne funkcije REM 545 zaštitnog terminala se mogu podijeliti na [4]:

1. Zaštitne funkcije
2. Mjerne funkcije
3. Upravljačke funkcije
4. Funkcije nadzora stanja
5. Komunikacijske funkcije
6. Opće funkcije
7. Standardne funkcije

### 3.1.2.1 Zaštitne funkcije

Zaštita je jedna od važnijih značajki ovog terminala. Funkcijski blokovi zaštite (npr. NOC3Low) su neovisni jedni o drugima te imaju zasebne grupe postavki, neovisno snimanje stanja, itd. Neusmjerena prekostrujna zaštita (eng.: *non-directional overcurrent protection*), na primjer, uključuje tri nivoa: NOC3Low, NOC3High i NOC3Inst, svaki s nezavisnim zaštitnim funkcijama. Za zaštitne funkcije koje se zasnivaju na mjerenju struje mogu se koristiti strujni transformatori ili Rogowski zavojnice. Sukladno tome, naponski transformatori ili djelitelji napona se koriste za funkcije koje se zasnivaju na mjerenju napona kao što je zaštita od prenapona. Popis zaštitnih funkcija terminala REM 545 može se vidjeti u tablici 1.1. [4]

Tablica 1.1: Popis zaštitnih funkcija terminala REM 545

NAZIV ZAŠTITNE FUNKCIJE	OPIS ZAŠTITNE FUNKCIJE
DEF2Low, DEF2High, DEF2Inst	Usmjerena zaštita od spoja na masu; niska, visoka i trenutna razina
Diff3	Diferencijalna zaštita generatora ili motora, temeljena na visokoj impedanciji ili na balansu toka
Diff6G	Stabilizirana trofazna diferencijalna zaštita za generatore
DOC6Low, DOC6High, DOC6Inst	Trofazna, usmjerena, prekostrujna zaštitna funkcija; niska, visoka i trenutna razina
Freq1St1, Freq1St2, Freq1St3, Freq1St4, Freq1St5	Zaštita od preniske ili previsoke frekvencije; pet razina zaštite
FuseFail	Nadzor stanja osigurača
Inrush3	Detekcija lavinske struje transformatora i startne struje motora
MotStart	Trofazni nadzor pokretanja elektromotora
NEF1Low, NEF1High, NEF1Inst	Neusmjerena zaštita od spoja na masu, niska i visoka razina.
NOC3Low, NOC3High, NOC3Inst	Trofazna neusmjerena prekostrujna zaštita, niska, visoka i trenutna razina
NPS3Low, NPS3High	Zaštita od faznog disbalansa, niska i visoka razina.
NUC3St1, NUC3St2	Trofazna neusmjerena podstrujna zaštita, prva i druga razina
OE1Low, OE1High	Zaštita od naduzbude, niska i visoka razina.

OPOW6St1, OPOW6St2, OPOW6St3	Trofazna zaštita od preopterećenja snage; prva, druga i treća razina
OV3Low, OV3High	Trofazna zaštita od prenapona, niska i visoka razina.
PREV3	Zaštita od promjene smjera rotacije (eng.: <i>phase reversal protection</i> )
PSV3St1, PSV3St2	Zaštita od naponskog disbalansa, prva i druga razina
REF1A	Zaštita od ograničenog spoja na masu, na temelju visoke impedancije
ROV1Low, ROV1High, ROV1Inst	Zaštita od rezidualnog prenapona: niska, visoka i trenutna razina
SCVCS1, SCVCS2	Funkcije provjere sinkronizacije i napona, prva i druga razina
TOL3Dev	Trofazna zaštita od termalnog preopterećenja
UE6Low, UE6High	Zaštita od poduzbude, niska i visoka razina.
UI6Low, UI6High	Trofazna zaštita od preniske impedancije, niska i visoka razina.
UPOW6St1, UPOW6St2, UPOW6St3	Trofazna zaštita od premale ili povratne snage, tri razine
UV3Low, UV3High	Trofazna zaštita od podnapona, niska i visoka razina.
VOC6Low, VOC6High	Naponski ovisna prekostrujna zaštita, niska i visoka razina.

### 3.1.2.2 Mjerne funkcije

Ovim funkcijama se definiraju analogni mjerni ulazi i izlazi: mjerenje neutralne struje, mjerenja trofaznih struja, napona, snage i energije, mjerenje frekvencije sustava te bilježenje kratkotrajnih smetnji.

### 3.1.2.3 Upravljačke funkcije

Ove funkcije služe prikazu stanja sklopnih uređaja, npr. visokonaponskih prekidača, izolacijskih sklopova i sl. Također izvršavaju komande za otvaranje i zatvaranje upravljivih sklopnih uređaja. Uza sve navedeno, postoje i dodatne funkcije upravljačke logike kao što su razne sklopke, upravljanje LED diodama na sučelju terminala, dobavljanje podataka za MIMIC ekran i logikom upravljan izbor upravljačkog mjesta koje može biti lokalno, udaljeno i automatsko upravljanje.

#### 3.1.2.4 Funkcije nadzora stanja

One služe nadzoru stanja glavnog visokonaponskog prekidača. Kontrolira se stanje električnog trošenja prekidača, tlak plina u prekidaču, napinjanje opruge, stanje okidačkog sklopa (eng.: *trip circuit supervision*). Također se kontrolira vrijeme kretanja kontakata prekidača, stanje strujnih i naponskih ulaznih krugova. Za motore je jako važna i funkcija brojanja radnog vremena nadziranog stroja.

#### 3.1.2.5 Komunikacijske funkcije

U specijalno konfiguriranim verzijama terminala, ako je to navedeno prilikom narudžbe, moguće je definirati poseban događaj upotrebom funkcije EVENT230.

#### 3.1.2.6 Opće funkcije

U opće funkcije pripadaju resetiranje snimača smetnji (eng.: *disturbance recorder*) te funkcija aktivacije osvjetljenja ekrana terminala.

#### 3.1.2.7 Standardne funkcije

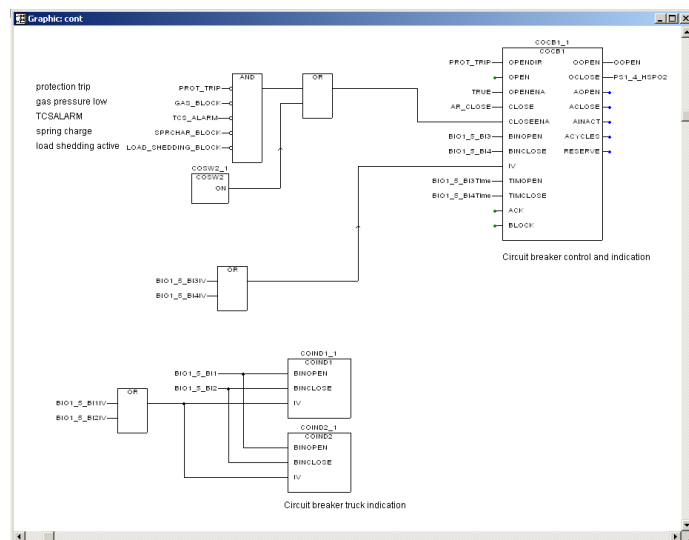
Ove se funkcije koriste za logiku upravljanja stanjima kao što su blokade, alarmi i sekvence upravljačkih naredbi. Upotreba ovih logičkih funkcija nije ograničena i moguće ih je kombinirati sa zaštitnim, mjernim, nadzornim i ostalim standardnim funkcijama. Uz to, diskretni ulazi i izlazi te LON ulazi i izlazi se mogu pridružiti standardnim funkcijama pomoću odgovarajuće programske podrške, u ovom slučaju *Relay Configuration Tool*.

### 3.1.3 Programiranje i konfiguracija terminala

#### 3.1.3.1 Konfiguracija upravljačkih funkcija

Programska podrška za konfiguraciju REM 545 terminala *Relay Configuration Tool* nam omogućava kontrolu izlaznih kontakata s obzirom na stanje logičkih ulaza i izlaza zaštitnih, kontrolnih, mjernih i nadzornih funkcija. Programabilne logičke funkcije upravljanja, to jest PLC funkcije kao što su logika blokade (eng.: *interlocking logic*) te logika alarma, se programiraju korištenjem Booleove algebre, brojača, tajmera, komparatora i bistabila. Programiranje se vrši funkcijskim blok-dijagram jezikom. Primjer programiranja upotrebom konfiguracijskog softvera se može vidjeti na slici 3.3. Nakon dizajniranja Mimic prikaza i konfiguracije terminala, dovršeni projekt se može prebaciti u terminal upotrebom softverskog alata zvanog *Relay Download Tool*. Da bi se taj novi projekt, koji sadrži mimiku i konfiguraciju, spremio u neizbrisivu memoriju (NVRAM) potrebno je aktivirati parametar za spremanje *Store*, a potom resetirati terminal aktivacijom parametra *Software reset*. Ti parametri se nalaze u izborniku *Configuration*, podizbornik *General*.

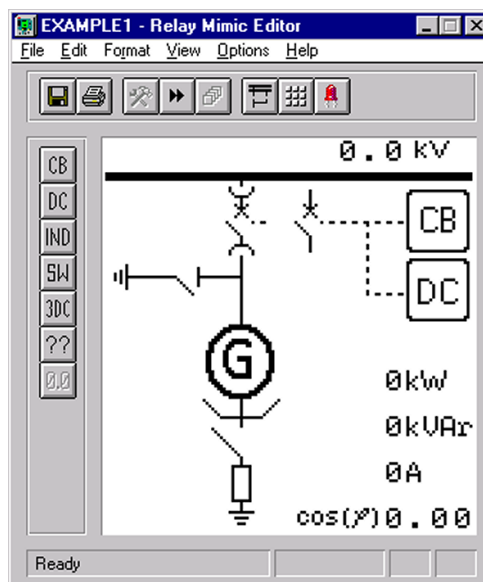
Postupak spremanja i aktivacije također se može odraditi alatom *Relay Download Tool* i to odabirom komandi *Store* i *Reset*.



Slika 3.3: Programiranje funkcija REM 545 terminala alatom *Relay Configuration Tool*

### 3.1.3.2 Konfiguracija Mimic dijagrama

Upravljačke funkcije definirane alatom *Relay Configuration Tool* je potrebno povezati s prikazima statusa upravljanih objekata koji su sadržani u Mimic slici na ekranu korisničkog sučelja. Mimic slika se izrađuje uz pomoć programskog alata *Relay Mimic Editor*, prikazanog na slici 3.4. Taj alat ujedno služi i za definiranje funkcije osam programabilnih LED indikatora i odgovarajućih tekstualnih alarmnih poruka koje se prikazuju na ekranu. Istim alatom se određuje režim rada terminala u stanju alarma i uređuje prikaz teksta statusa LED indikatora blokade.

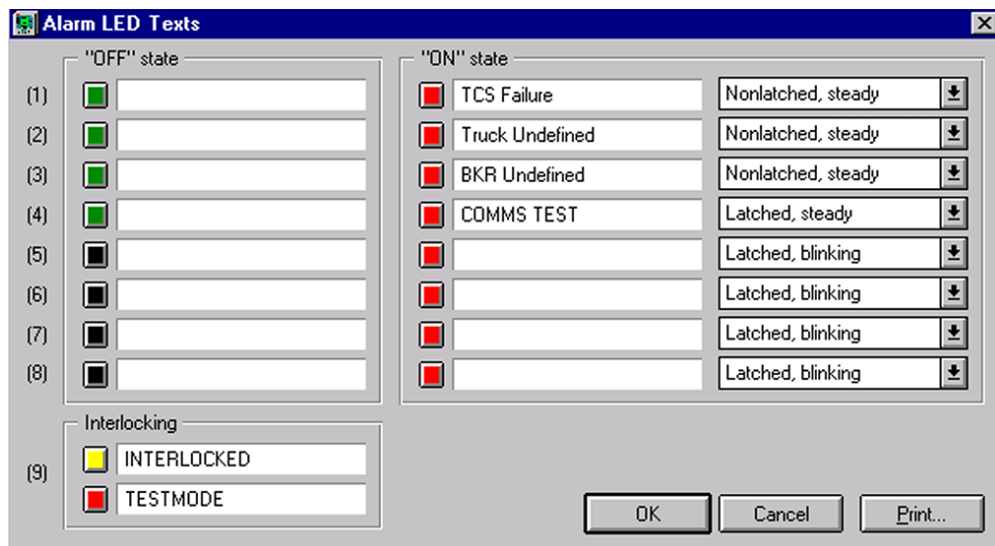


Slika 3.4: Primjer izrade Mimic dijagrama. Programski alat „*Relay Mimic Editor*”

Mimic slika se može sastojati od jednopolne sheme, prikaza izmjerenih vrijednosti s mjernim jedinicama, proizvoljnih tekstualnih poruka i tome slično. Prikaz statusa objekta (otvoren, zatvoren, nepoznat) se može crtati po željama korisnika. Ovdje je bitno naglasiti da je upravljanje objektima određeno pomoću *Relay Configuration Tool*.



Sadržaj alarmnih poruka, koje se prikazuju u pomoćnom prozoru ekrana, također se uređuje alatom *Relay Mimic Editor*. Primjer konfiguracije alarmnih poruka je prikazan na slici 3.5. Svakom pojedinom alarmu se definiraju tekstualne poruke, duljine do 16 znakova, za aktivno i za pasivno stanje.



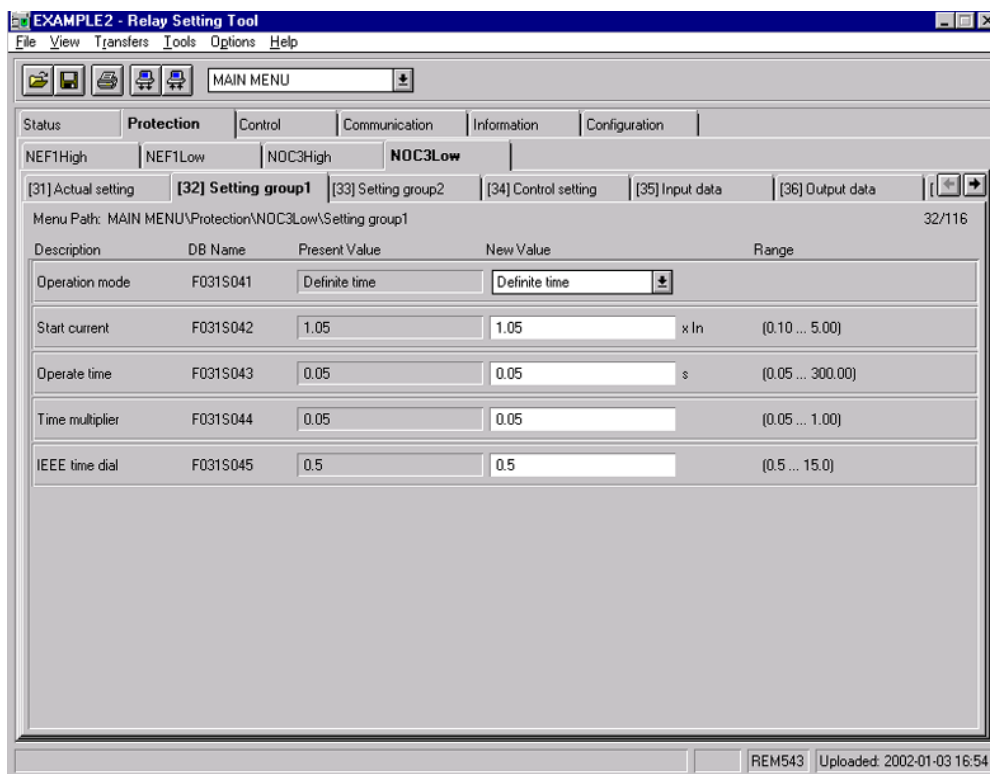
Slika 3.5: Primjer konfiguracije alarma alatom *Relay Mimic Editor*

### 3.1.3.3 Konfiguracija parametara i događaja

Funkcijski blokovi i ulazno-izlazne kartice sadrže veliki broj parametara i događaja (eng.: *events*) kao što su: vrijednosti vremenskih zatezanja prorade pojedinih funkcija, granične vrijednosti mjerenih veličina, stanja signala za proradu pojedinih zaštitnih funkcija, stanja signala indikacije i tome slično. Uz to, terminal posjeduje opće parametre i događaje kao što su parametri komunikacije (npr. moguće je odrediti brzinu protoka podataka za pojedine komunikacijske protokole), upravljanja (npr. parametri za upravljanje i indikaciju stanja prekidača visokog napona) te događaji za testiranje i samokontrolu (npr. parametri nadzora istrošenosti kontakata prekidača visokog napona, nadzor tlaka plina u prekidaču, brojač aktivacija prekidača). Parametri pojedinih blokova funkcija su navedeni u opisima tih blokova, a postoji i cjelovit popis sa svim parametrima i događajima REM 545 terminala. Opisi blokova te popisi parametara i događaja se mogu naći isključivo u kompletu tehničke dokumentacije koja se isporučuje s terminalom.

Da bi bili sigurni da određeni funkcijski blok štiti stroj na odgovarajući način, potrebno je pažljivo provjeriti parametre i po potrebi ih namjestiti na željene vrijednosti prije stavljanja bloka u upotrebu. Parametre je moguće mijenjati lokalno, koristeći sučelje terminala, ili daljinski (eksterno) putem serijske veze. Bitno je naglasiti da je Modbus komunikacijske parametre moguće mijenjati samo lokalno. Kada se parametri mijenjaju lokalno na terminalu, odabir se vrši putem sustava izbornika.

Softverski alat *Relay Setting Tool*, prikazan na slici 3.6, koristi se za eksterno mijenjanje parametara i postavki REM 545 terminala. Parametre je moguće odrediti na računalu bez da smo spojeni na terminal, a potom se može učitati gotov projekt u terminal preko komunikacijskog ulaza. Struktura izbornika ovog softverskog alata je ista strukturi izbornika samoga terminala.



Sika 3.6: Glavni ekran alata *Relay Setting Tool* – određivanje parametara

Kada se parametri promijene, njihove nove vrijednosti stupaju na snagu istoga trenutka. Da bi se te nove vrijednosti spremile u neizbrisivu memoriju potrebno je aktivirati parametar *Store* u izborniku *Configuration/General* (hrv.: Konfiguracija/Općenito) ili alatom *Relay Setting Tool*. Nakon što je spremanje uspješno izvršeno, svi podatci u neizbrisivoj memoriji će biti sigurni od gubitka napajanja terminala.

U slučaju mijenjanja postavki mjernih uređaja ili komunikacijskih parametara, potrebno je izvršiti spremanje novih postavki i resetiranje terminala komandama *Store*, a potom i *Reset*.

### 3.1.4 Ulazi i izlazi terminala

#### 3.1.4.1 Analogni kanali

Ovaj zaštitni terminal generatorskog polja mjeri analogne signale koji su potrebni za zaštitu te mjerne i ostale funkcije, upotrebom senzora ili galvanski odvojenih prilagodnih transformatora. U našem slučaju, zaštitni terminal generatorskog polja na *Oasis of the Seas* dolazi sa 8 strujnih i jednim naponskim prilagodnim transformatorom. Uz konvencionalne visokonaponske mjerne transformatore mogu se koristiti i strujni senzori te dijelila napona, razvijeni u firmi ABB. Terminal sadrži 9 senzorskih ulaza te je moguće spojiti strujni senzor (npr. Rogowski svitak) ili dijelilo napona na bilo koji od tih ulaza. Krajnjem korisniku je jednostavno odrediti u konfiguraciji terminala koji tip senzora će se koristiti na pojedinom ulazu i mjernu jedinicu koju korisnik želi na tom kanalu. Moguće je čak vršiti i neka opća mjerenja putem ovih ulaza, na primjer moguće je očitavanje temperature ako na ulaz spojimo osjetilo temperature s naponskim izlazom. Terminal posjeduje i virtualne analogne kanale za izračun neutralne struje i rezidualnog napona iz vrijednosti faznih struja i napona.

### 3.1.4.2 Digitalni ulazi

Terminal REM 545 ima 25 digitalnih ulaza od kojih 7 može biti konfigurirano i kao brojači impulsa. Ovi ulazi su optički izolirani naponski kontrolirani ulazi. Za svaki od njih je moguće odrediti parametre filtriranja, inverzije i brojanja impulsa. Vrijeme filtriranja signala služi za uklanjanje kratkotrajnih smetnji i postavlja se za svaki ulaz posebno. Parametar inverzije se koristi za mijenjanje statusa ulaza: ako je ulaz invertiran tada mu je status ISTINIT (1, *TRUE*) kada nema napona na ulazu, a NIJE ISTINIT (0, *FALSE*) ako je na stezaljke ulaza narinut odgovarajući kontrolni napon (istosmjerni napon od 80 do 265 V). Kada digitalni ulazi rade kao brojači impulsa, tada se pomak na ulazu od stanja 0 prema stanju 1 broji i vrijednost brojača raste za 1. Brojači se ažuriraju svakih 500 ms, a frekventni opseg ulaza koji radi kao brojač je od 0 do 100 Hz.

### 3.1.4.3 Digitalni izlazi

Postoje tri vrste digitalnih izlaza:

1. Brzi izlazi visoke snage (eng.: *High-speed power output, HSPO*). To su dvopolni kontakti koji se isključivo koriste za okidanje (eng.: *trip*) i kontrolu visokonaponskih prekidača i rastavljača. Prekidna struja za kontakte ovih izlaza pri 250 V je 1 A.
2. Izlazi visoke snage (eng.: *Power output, PO*). Oni mogu biti jednopolni ili dvopolni kontakti koji se uglavnom koriste za upravljanje visokonaponskim prekidačima i rastavljačima. Prekidna struja za kontakte ovih izlaza pri 250 V je 1 A.
3. Signalni izlazi (eng.: *Signal output*), SO. To su normalno otvoreni ili normalno zatvoreni kontakti koji se koriste isključivo za signaliziranje (npr. alarm). Prekidna struja za kontakte ovih izlaza pri 250 V je 0,15 A.

### 3.1.4.4. RTD/Analogni ulazi i analogni izlazi

Terminali opremljeni RTD/Analognim modulom imaju osam analognih istosmjernih mjernih ulaza za opću namjenu. RTD je kratica za otporno temperaturni uređaj (eng.: *Resistance Temperature Device*) Ti analogni ulazi su galvanski odvojeni od napajanja i kućišta terminala te dijele zajednički spoj na masu. Za svaki pojedini ulaz se može odrediti da li je mjerni signal strujni, naponski, dvožični ili trožični otporni te dvožični ili trožični temperaturni. Za svaki tip mjernog signala moguće je odrediti mjerni opseg ili, u slučaju da mjerimo temperaturu, tip senzora (Pt100, Pt250, Pt1000, Ni100, Ni120, itd). Moguće je podesiti vremensko filtriranje i nadzor valjanosti mjerenog signala u vremenskom intervalu. Svaki ulaz se dodatno kontrolira prije slanja mjernog uzorka u algoritam za filtriranje tako da se mogućnost utjecaja kvara ulaznog sklopa na daljnju obradu mjerene vrijednosti smanji na minimum. Ovaj modul je tvornički kalibriran, ali sadrži i sklopove koji mu omogućuju samostalnu rekaliibraciju tijekom rada. Ovaj proces rekaliibracije je stalno aktivan, čak i kada pojedini ulazi nisu u upotrebi, te na taj način osigurava da je modul u svakom trenutku optimalno ugođen.

Terminali koji sadrže RTD/Analogni modul također imaju i četiri analogna strujna izlaza za opću upotrebu, koji mogu raditi u standardnim opsezima od 0 do 20 mA ili od 4 do 20 mA. Svi ovi izlazi su galvanski izolirani između sebe, ali i od napajanja i kućišta terminala.

### 3.1.5 Interni nadzor (IRF)

REM 545 terminal je opremljen sofisticiranim sustavom nadzora internih procesa koji obavještava korisnika o greškama putem lokalnog grafičkog sučelja te LON ili SPA komunikacijskim protokolima serijske veze [5]. IRF je kratica za internu grešku releja (eng.: *Internal Relay Fault*). U slučaju greške zeleni LED indikator koji se nalazi ispod ekrana treperi, a na ekranu se prikazuje tekst indikacije interne greške. Šifra greške se može pročitati na terminalu u pod-izborniku *Status/ General/ IRF Code* i predstavlja prvu internu grešku koju sustav otkrije. Preporuka je da se šifra greške zapiše prije pokušaja resetiranja terminala te da ju se obavezno prijavi prilikom kontakta sa servisnim inženjerom proizvođača terminala. Interne greške se dijele na greške pojedinih modula (npr. MIMIC kartica, RTD/Analog kartica, ili tome slično), greške parametara, greške analognih mjernih ulaza, softverske greške i greške koje se odnose na testiranje terminala.

### 3.1.6 Serijska komunikacija.

Terminal posjeduje dva serijska porta na stražnjoj strani. Jedan od njih je RS-232 i može koristiti SPA-bus, Modbus, Profibus i IEC 61850 protokole, a drugi je RS-485 koji može koristiti LON i SPA-bus protokole. Treći, optički RS-232 port se nalazi na prednjoj strani terminala. On služi za komunikaciju s PC računalom te se posebnim kabelom (proizvođač je, naravno, ABB) spaja na serijski RS-232 port računala. Ovaj optički port služi isključivo za programiranje terminala putem posebnih softverskih alata (neki od njih su spomenuti u ovom poglavlju) i koristi SPA-bus komunikacijski protokol. Kada je prednji port aktivan, komunikacija na stražnjim portovima se ne prekida, što omogućava, na primjer, prijenos zapisa o smetnjama na računalo bez da se ometa komunikacija prema višem nivou nadzora ili automatike pogona.

Zbog svega navedenog u poglavlju 3.1 može se zaključiti da je zaštitni terminal REM 545 fleksibilan uređaj u sustavu zaštite visokonaponskog postrojenja. Lako ga je konfigurirati za određenu primjenu. Bogatstvo funkcija, mnoštvo ulaza, izlaza te posebno sposobnost nadzora vlastite ispravnosti i kalibracije govore nam da je ovo uređaj kojemu je pouzdanost na najvišoj razini. Spajanje i razmjena podataka s drugim terminalima i dijelovima sustava je lako ponajprije zahvaljujući velikom broju podržanih industrijskih serijskih komunikacijskih protokola. Ovaj terminal uvelike olakšava projektiranje, izgradnju i održavanje kompleksnih sustava distribucije električne energije.

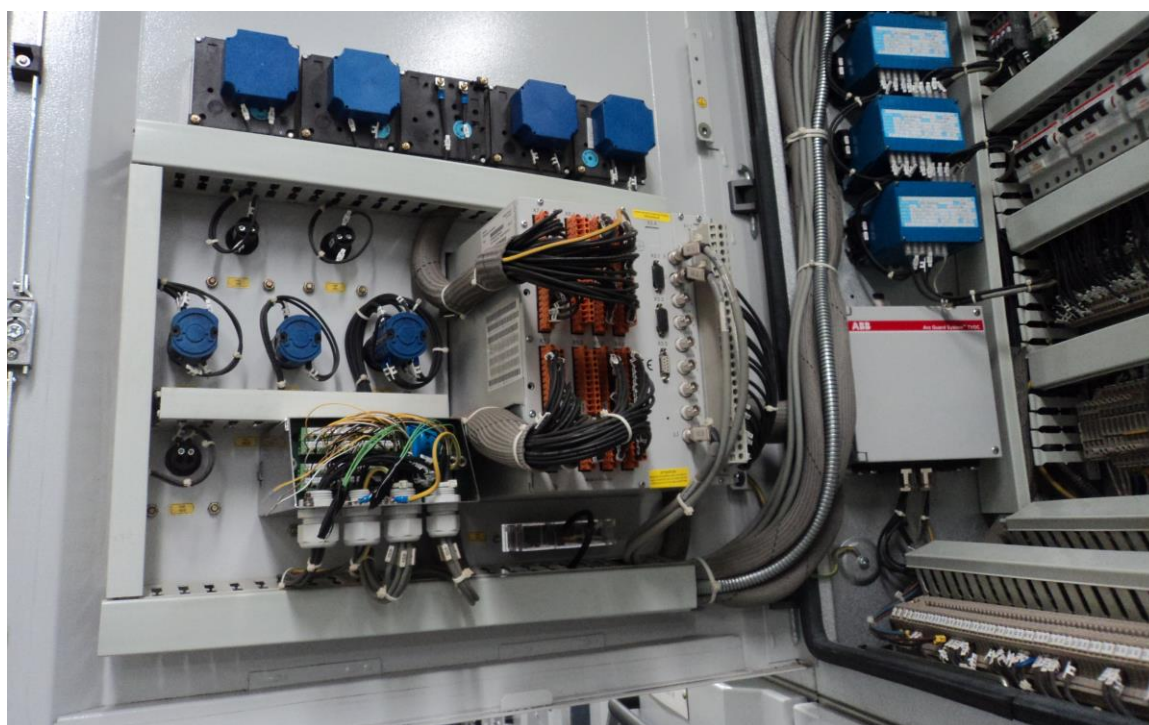
## 3.2 ARC Guard System™ TVOC– zaštita od električnog luka

Sustav zaštite od električnog luka koji je u upotrebi na *Oasis of the Seas* naziva se ARC Guard System™ TVOC i proizvodi ga tvrtka ABB. Temelji se na mjerenju jakosti struje i intenziteta svjetlosti. Optički detektori nalaze se u svim osnovnim dijelovima sklopne ploče: odjeljku sa sabirnicama, odjeljku s glavnim prekidačem i odjeljku s kabelima. Ovi optički detektori su spojeni na uređaje za nadzor električnog luka. Mjerenje jakosti struje se vrši putem klasičnih strujnih transformatora koji se nalaze u odjeljku za linijske kabele, u ovom slučaju unutar generatorskog polja sklopne ploče. Uređaj za nadzor jakosti struje će onemogućiti proradu zaštite od električnog luka u slučaju kada je izmjerena struja manja od prethodno određene kritične vrijednosti. Izlazni kontakti detektora električnog luka su

direktno spojeni na mehanizam za otvaranje visokonaponskih prekidača. Također se šalje signal aktivacije zaštite sustavu automatizacije strojarnice (MAS).

Štete kod pojave električnog luka u visokonaponskim postrojenjima mogu biti goleme. Količina energije koja se tada oslobađa je proporcionalna umnošku kvadrata struje kratkog spoja i vremena. Kod ovoga sustava zaštite se krenulo od pretpostavke da je puno lakše utjecati na vrijeme reakcije nego na struju kratkog spoja. Zbog upotrebe optičkih senzora, otkrivanje električnog luka je moguće u iznimno kratkom vremenu. Prema podacima proizvođača potrebno je samo oko 1 do 2 ms od otkrivanja bljeska električnog luka do slanja okidačkog signala za otvaranje prekidača [6]. Krug kod kojeg je otkrivena pojava luka se selektivno isključuje sa mreže za manje od 100 ms, u što je uključeno vrijeme otvaranja prekidača, a dizelskom motoru se šalje signal za zaustavljanje. Svojom iznimnom brzinom reakcije ovaj sustav sprečava da se pojava električnog luka unutar zaštićenog područja pretvori u katastrofalni kvar s golemim posljedicama.

Upotrebom optičkih detektora koji se spajaju optičkim kabelima na upravljački dio, ovaj sustav je otporan na snažne elektromagnetske smetnje koje se mogu pojaviti u ovakvim postrojenjima. Optička vlakna se koriste i za detektore i za komunikaciju između komponenti sustava ARC Guard System™. Ovaj sustav se može lako ugraditi i u postojeća i u nova visokonaponska postrojenja jer optički kabeli i detektori nisu vodljivi te nisu osjetljivi na električna i magnetska polja.



Slika 3.7: Odjeljak s instrumentima polja generatora – vidljivi su uređaji SensyCal IR, REM545 i ARC Guard System™ TVOC

Na slici 3.7 prikazana je unutrašnjost instrument panela generatorskog polja. Gledajući s lijeva, prvi veći uređaj je sklop za nadzor temperature SensyCal IR. Neposredno do njega je zaštitni terminal REM 545, a desno od njega, unutar odjeljka, je ARC Guard System™ TVOC, zaštita od električnog luka.



### 3.3 SensyCal IR – Nadzor temperature visokonaponskih komponenti

Uređaj SensyCal IR tvrtke ABB je namijenjen za beskontaktno mjerenje temperature. Sastoji se od mjerne jedinice i infracrvenih senzora. U nekim izvedbama se još ugrađuje i Pt100 mjerni pretvornik koji služi za mjerenje temperature okoline u odjeljku za sabirnice generatorskog polja. [7]. Mjerna jedinica je mikroprocesorski uređaj koji služi za prijem mjernih signala, obradu primljenih podataka i prikaz izmjerenih veličina. Izgled ove jedinice je prikazan na slici 3.8. Mjerni senzori nadziru spojne točke sabirnica, spojeve prekidača te spojeve odlaznih kabela u brodskim visokonaponskim postrojenjima. Upotrebom beskontaktnih, infracrvenih pirometara može se kontinuirano mjeriti temperature komponenata koje su pod naponom. U slučaju uređaja koji su u upotrebi na brodu *Oasis of the Seas*, do dvanaest senzora može biti spojeno na jednu mjernu jedinicu. Također je moguće odrediti vrijednosti temperatura pri kojima će sustav aktivirati upozorenje te glavni alarm. Postoji mogućnost spajanja jednog Pt100 senzora za mjerenje temperature okoline u odjeljku za sabirnice.



Slika 3.8: Nadzor temperature polja generatora glavne sklopne ploče

Ovaj sustav informira operatere o promjeni temperature na mjernim točkama. Porast temperature se može dogoditi u slučaju slabljenja kontakta na spoju sabirnica uslijed vibracija, ako dođe do odvijanja vijka i matice na spoju, ili ako poraste otpor na kontaktima prekidača zbog oksidacije.

Mjerna jedinica je opremljena komunikacijskim sučeljima za prijenos podataka prema sustavu automatizacije pogona te za konfiguraciju i čitanje spremljenih podataka. Podešavanje parametara se može izvršiti putem niza jednostavnih izbornika koji se prikazuju na LCD ekranu mjerne jedinice, a moguće je koristiti i konfiguracijski program na osobnom kompjuteru koji se na mjernu jedinicu spaja ili putem optičkog (infracrvenog) sučelja ili putem Mbus sučelja [7]. Na LCD ekranu se prikazuju sve mjerene vrijednosti zajedno s maksimalnim temperaturama i imenom mjerne točke, a u slučaju prekoračenja zadanih vrijednosti u memoriju sustava se spremaju bitne informacija o grešci uz točan datum i vrijeme kada se pojavila.

## 4 Zaključak

Gradnjom novih i sve većih brodova koji koriste električnu energiju za propulziju, sustave u strojarnicama, klimatizacijske sustave, velike sustave kuhinja, zabavu, rasvjetu i ostale uređaje postaje nam jasno da jednostavni sustavi od dva ili tri malena dizel-generatora jednostavno ne mogu biti dovoljni. Veliki brodovi za kružna putovanja postavljaju velike zahtjeve pred projektante elektro-energetskog sustava s obzirom na fleksibilnost pogona i potrebu da taj pogon dosegne i održi visok stupanj iskoristivosti, odnosno što manje gubitke. Zbog toga se najčešće sustavi grade oko većeg broja dizel-generatora. Osnovna elektro-distribucijska mreža radi u području visokih napona, uglavnom od 6 ili 11 tisuća volti. Da bi se mogao kvalitetno nadzirati i održavati takav sustav te smanjiti mogućnost kritičnih zastoja, kvarova i havarija koriste se sofisticirani uređaji temeljeni na mikroprocesorskoj tehnologiji. To su razni multifunkcionalni zaštitni releji i terminali, sklopovi za precizna mjerenja i nadzor visokonaponske sklopne ploče te generatora. Njihove najvažnije karakteristike su pouzdanost, preciznost i velika brzina reakcije. Najčešće ih je moguće programirati i podesiti tako da je relativno lako prilagoditi takve uređaje specifičnim potrebama sustava kojeg štite. Softverski alati za programiranje ovakvih zaštitnih uređaja su najčešće jednostavni za upotrebu, s jasnim korisničkim sučeljem i opsežnom dokumentacijom. Različite razine pristupa određenim promjenjivim parametrima su jasno odvojene, tako da su određene postavke dostupne operatoru, a neke važniji parametri i postavke samo ovlaštenim inženjerima i stručnjacima. Sadrže i komponentu nadzora rada vlastitih sklopova i funkcija koja će obavijestiti operatora na mogući problem unutar zaštitnoga releja ili senzora spojenog na njega.

Ovakvi zaštitni releji i terminali su opremljeni sklopovima za komunikaciju različitim industrijskim komunikacijskim protokolima. Na taj način se više njih može lako povezati u veći sustav, u ovom slučaju MAS (*Machinery automation system*) te je operaterima omogućeno jednostavno upravljanje složenim elektroenergetskim sustavima uz minimalne troškove održavanja i značajno smanjenje vjerojatnosti da će se dogoditi skup i kompliciran kvar.

## LITERATURA

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Oasis\\_of\\_the\\_Seas](https://en.wikipedia.org/wiki/Oasis_of_the_Seas) , Wikipedia, 2019.
2. 2018 Cruise industry review, The Florida-Caribbean Cruise Asociation, 2018, Florida, USA. <http://www.f-cca.com/downloads/2018-Cruise-Industry-Overview-and-Statistics.pdf>
3. Doc. dr. sc. Dubravko Vučetić: Brodski električni strojevi i sustavi, Sveučilište u Rijeci, 2011, Hrvatska
4. ABB: Machine Terminal REM 54\_, Technical reference manual, General, 1MRS750915-MUM; ABB Oy, 1998, Finland
5. ABB: Protection and control terminals RE\_ 54\_, Operator's manual, 1MRS750500-MUM; ABB Oy, 1997, Finland
6. ABB: ABB Arc Guard System™ TVOC, 1SXU170174B0201; ABB Inc. 1998, Texas, USA
7. ABB: SensyCal FCU400-IR Contactless temperature monitoring system, Operating instruction, 3KXF800003R4201, 42/18-70-EN; ABB Automation Products GmbH, 2012, Germany



## **PRILOZI**

### **Popis tablica**

- Tablica 1.1 – Izvor: Machine Terminal REM 54\_, Technical reference manual, general

### **Popis slika**

- Slika 1.1 – autor: Baldwin040 – Vlastiti rad, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9383885>
- Slika 1.2 – autor: Chris Pappin - <https://cruisewithchris.blogspot.com/2015/10/size-does-matter-they-come-in-many-sizes.html>
- Slika 1.3 – autor: nepoznat, privatna kolekcija Tin Stražičić
- Slika 2.1 - autor ABB, izvor: Synchronous generators for diesel and gas engines, ABB Motors and generators, 2012.
- Slika 2.2 - autor ABB, izvor: <https://www.scribd.com/document/214227634/Synchronous-Generator>
- Slika 2.3 - autor: nepoznat, privatna kolekcija Tin Stražičić
- Slika 2.4 – autor: Tin Stražičić
- Slika 2.5 – autor: Tin Stražičić
- Slika 2.6a - autor nepoznat, privatna kolekcija Tin Stražičić
- Slika 2.7 - autor: Tin Stražičić
- Slika 2.8 - autor: Tin Stražičić
- Slika 3.1 – autor: ABB, izvor: Protection and Control Terminals RE\_ 54\_, Operator's manual
- Slika 3.2 – autor: ABB, izvor: Protection and Control Terminals RE\_ 54\_, Operator's manual
- Slika 3.3 – autor: ABB, izvor: Machine Terminal REM 54\_, Technical reference manual, general
- Slika 3.4 – autor: ABB, izvor: Machine Terminal REM 54\_, Technical reference manual, general
- Slika 3.5 – autor: ABB, izvor: Machine Terminal REM 54\_, Technical reference manual, general

- Slika 3.6 – autor: ABB, izvor: Machine Terminal REM 54\_, Technical reference manual, general
- Slika 3.7 – autor: Tin Stražičić
- Slika 3.8 – autor: Tin Stražičić

## **IZJAVA**

Izjavljujem pod punom moralnom odgovornošću da sam završni rad izradio samostalno, isključivo znanjem stečenim na Odjelu za elektrotehniku i računarstvo, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora izv. prof. dr. sc. Marije Mirošević, kojoj se još jednom srdačno zahvaljujem.

Tin Stražičić